

補足-40-9 【原子炉格納容器内に使用されるテフロン[®]材の
事故時環境下における影響について】

1. 概要

本資料は、米国 NRC より、*NRC Information Notice 2014-04, "Potential for Teflon® Material Degradation in Containment Penetrations, Mechanical Seals and Other Components"*, (March 26, 2014)が発行され、NRC の規制要求外という位置づけで、原子炉格納容器貫通部、エアロック、ポンプシール他に影響を及ぼすおそれのあるテフロン® (Teflon®) 材の劣化の可能性について米国の事業者等に注意喚起されたことに鑑み、東海第二発電所の原子炉格納容器内の機器（原子炉格納容器バウンダリ構成部を含む。）について、テフロン® (Teflon®) 材が事故時環境下において機器の健全性に影響を及ぼすかどうかについて検討し、その結果についてまとめたものである。

2. テフロンの特性

テフロン® (Teflon®) は、フッ素樹脂の一種であり、米国デュポン社が開発したフッ素樹脂の商標名である。一般に、テフロン®とは、PTFE (ポリテトラフルオロエチレン) のことを指す。(以下「テフロン」という。)

テフロンは、ポリエチレン-(CH₂-CH₂)_n-の水素 H をフッ素 F に置き換えた-(CF₂-CF₂)_n-が鎖状に連なる構造で、分子量が数 100 万～1000 万の分子である。

テフロンの分子は、C-F 間の強い結合力により、C-F 結合距離が短く、F 原子が C-C 鎖の周囲を隙間なく埋め尽くした構造である。この特徴により、強い耐薬品性を有する。また、F 原子同士の間隔により、螺旋構造となり、C-C 自由回転のエネルギーが高い。その結果、曲がりにくく剛直な分子となる。

テフロンは、耐薬品性、耐熱性に極めて優れている。フッ素樹脂は他のプラスチックと同様に射出成形等の成形法が適用可能なものがほとんどであるが、テフロンに関しては、融点以上の温度であっても流動化しないため、粉末冶金に似た方法で成形される。また、テフロンは、耐熱特性、耐化学薬品性、電気的特性、非粘着性、自己潤滑性に優れている。

テフロンの基本特性は、別添資料 1 の通りである。以下、テフロンの特性について各種項目別に説明する。

耐化学薬品性

テフロンの最大の特徴はその耐化学薬品性にある。テフロンは、ほとんどすべての酸、アルカリ及び有機薬品に対して不活性である。耐オゾン性も良好で、耐候性についても十年間の曝露試験に対して全く変化のないことが報告されている。吸湿性、吸水性も 0.01 %/24 h 未満である。

電気的特性

テフロンは、その構造の対称性からも明らかな様に、無極性であって、広い周波数領域にわたって低い誘電率を示し、絶縁抵抗や絶縁破壊の強さもプラスチック中最高水準である。高温の中で、15,000～20,000 V の高電圧下においても高い絶縁抵抗を示し、高い耐熱性、耐候性及び非吸湿性と相まって、非常に優れた電気絶縁材料として有用である。

耐熱特性

テフロン[®]の耐熱性もまたプラスチック中最高水準で、 $-100\sim+260$ °Cの広い温度範囲にわたって長時間の使用に耐えることができる。また、用途、用法によってはさらに高温及び低温の使用にも耐えることが確認され、特に低温では -196 °Cの液体窒素に使用しても常温と同じ摩擦係数を示す。テフロン[®]の融点は 327 °Cであって、これ以上の温度ではゲル状態となって機械的性質は急激に変化する。分解開始温度は、接触表面や雰囲気^①に依存するが、 $350\sim 390$ °C程度であって、それまでの温度では、たとえ融点を超えて加熱しても形は崩れず、常温に戻せばそのままの形で劣化は認められない。

自己潤滑特性

テフロン[®]の摩擦係数は非常に低く、代表的な固体潤滑剤の1つに数えられる。荷重や摩擦速度によっては、他の代表的な固体潤滑剤であるグラファイトや二硫化モリブデンより低い摩擦係数を示す。動摩擦係数は、 0.7 MPa、 3 m/minの条件で 0.10 である。

機械的特性

引張強度は $27\sim 34$ MPa、伸びは $200\sim 400$ %、圧縮強度は 12 MPaである。

切削性は極めて良好で、切削加工は容易である。また、温度による膨脹、収縮は金属より遥かに大である。

放射線照射特性

テフロン[®]は、放射線の作用によってテフロン[®]の鎖状分子が切断されることにより、重合度が低下し、脆性化することが知られている。ただし、放射線により鎖状分子が切断されてもテフロン[®]分子はテフロン[®]分子のままであるため、化学的な安定性は維持され、形状も維持される。

別添資料2によると、テフロン[®]の放射線に対する耐久性は約 2×10^3 Gyと評価されている。別添資料3によると、引張強度は、積算線量の増加とともに徐々に低下していく。別添資料4によると、気中における引張強度は、照射とともに徐々に低下する。積算線量 10^3 Gy以上 10^6 Gy程度までの領域では、積算線量依存性が小さくなり、未照射材の $20\sim 40$ %の値を維持する。

3. 健全性評価対象となるテフロン材使用機器

(1) テフロン材使用機器の抽出

テフロン材使用機器の抽出は、技術基準規則第14条第2項及び第54条第1項にて、設計基準事故及び重大事故等の環境条件下において、安全設備及び重大事故等対処設備について機能を発揮できるよう要求されていることから、安全設備及び重大事故等対処設備のうち事故時に高放射線量下で使用される原子炉格納容器内の機器及び原子炉格納容器バウンダリ構成機器を対象機器とする。なお、原子炉格納容器外の高放射線量下で使用される機器に関しては、残留熱除去系ポンプ、原子炉隔離時冷却系ポンプ、高圧炉心スプレイ系ポンプ等の非常用炉心冷却系のポンプが挙げられるが、これらの機器についてはテフロン材を使用していないことを確認している。

対象機器の中で、機器の構成部品にテフロン材が使用されている機器を抽出した結果、表1の機器でテフロン材を使用していることを確認した。

表1 テフロン材を使用している機器及びテフロン使用部品

テフロン使用機器	テフロン使用部品
所員用エアロック均圧弁	弁シール部のシールリング
所員用エアロック電線管貫通部	シール部のシーラント，スリーブ
起動領域計装及び出力領域計装	取付部のナット内部部材
T I P ボール弁	弁シール部のシールリング，グランドシール部のシール材

なお、本資料の検討の端緒となった *NRC Information Notice 2014-04* では、原子炉格納容器電線貫通部の絶縁材，余熱除去ポンプ及び格納容器スプレイポンプのメカニカルシール，エアロック回りの部品（シャフト貫通部，ステムパッキン及び均圧弁），水素／酸素フロースイッチに用いられるリード線の絶縁材，伝送器に用いられる絶縁材等にテフロン材が使用されていたこと，これら部品は別材料の部品へ交換する措置が講じられたことが事例として紹介されているが，東海第二発電所に関しては，原子炉格納容器電線貫通部，残留熱除去系ポンプ等にテフロン材は使用されていない。

(2) 健全性評価対象となるテフロン材使用機器（テフロン材使用部品）

抽出したテフロン材使用機器の概要と部品の機能及び使用時の状態を①～④に示す。また，これらのうち，当該機器の機能及び原子炉格納容器のバウンダリ機能に影響を与える可能性がある部品を表2に示す。

表2 テフロン材を使用している機器及びテフロン使用部品

テフロン材使用機器		部品の機能	機器機能等*1への影響
機器	部品		
所員用エアロック均圧弁	シールリング	弁のシール機能	あり*2
所員用エアロック電線管貫通部	シーラント	電線管内部のシール機能	あり*2
	スリーブ	ケーブルの保持機能	なし
起動領域計装 出力領域計装	ナット内部部材	コネクタの被水防止機能	なし
T I P ボール弁	シールリング	弁のシール機能	あり
	シール材	弁グランド部のシール機能	あり

注記 *1：当該機器の機能及び原子炉格納容器のバウンダリ機能への影響

*2：所員用エアロックの内外に2重に設置されており，両方のシール機能が同時に喪失した場合に原子炉格納容器のバウンダリ機能への影響が生じる

① 所員用エアロックの均圧弁

所員用エアロックは、図1に示す通り、原子炉格納容器に1箇所設置されている。エアロックは、図2に示す通り、中心軸を水平に配置した中空円筒構造の設備であり、円筒の両端面に位置する隔壁にそれぞれ1枚ずつ扉を設けることにより、原子炉格納容器内外を結ぶ通路として使用されるものである。

内外2枚の扉を結ぶ接続機構により、少なくとも一方の扉は閉じた状態となるように設計されている。閉じた状態の扉には、微圧ながら扉の両側に差圧がかかるため、図3に示す通り、扉1枚ごとに1個の均圧弁が設置されており、扉を開く際に、扉の動きに先行して均圧弁が開くことにより、扉の差圧が解消され、その後、扉に操作力が作用する仕組みとなっている。

テフロン材は、図4に示す通り、均圧弁のシールリングとして使用している。ボール弁のシールリングは、弁が全閉状態の際、差圧によりボール型弁体が弁箱に押し付けられ、ボール型弁体と弁箱の当たり面をシールリングで密封する。弁には2つのシールリングが装備されているが、差圧の向きに応じて、2つあるうちの圧縮される側のシールリングが弁の密封性を確保するように働く。この状態のシールリングに着目すると、ボール型弁体にかかる差圧によりシールリングがボール型弁体から弁箱に向かって押し付けられる作用と、ボール型弁体と弁箱の隙間領域においてシールリングにかかる差圧でシールリングがシールリング溝に押し付けられる作用により、一方向に圧縮を受ける応力状態となる。

② 所員用エアロックの電線管貫通部

所員用エアロックの内側隔壁及び外側隔壁には、通常運転時に扉の開閉表示盤へ電力を供給するために電線管貫通部が設置されている。

テフロン材は、図5に示す通り、電線管貫通部の一部を構成するシーリンググランド内のシーラント及びスリーブに使用している。

シーリンググランド内のシーラントは、キャップを締め付けることによりシーラントがボディに押し付けられ、シーラントとボディの当たり面で密封される。この状態のシーラントに着目すると、キャップにより締め付けられボディへ押し付けられる作用と、内部流体から押し付けられる作用により、左右二方向から圧縮を受ける応力状態となる。

なお、スリーブについては、ケーブルの保持を目的に、ケーブルとボディ及びキャップとの間に設置されており、当該機器の機能及び原子炉格納容器のバウンダリ機能に影響する部品ではない。

③ 起動領域計装及び出力領域計装

起動領域計装及び出力領域計装は、それぞれ、原子炉の停止状態～起動状態、原子炉の起動状態～定格出力運転状態において、原子炉の周囲における中性子束を計測し、原子炉の状態を監視するために設置される検出器である。各中性子束検出器は、中性子束に応じた電気信号を出力し、その電気信号は信号ケーブルを介して計測制御系に伝送される。

テフロン材は、図6に示す通り、起動領域計装及び出力領域計装の に使用している。

④ T I P ボール弁

移動式炉心内計装（以下「T I P」という。）は、炉心内の軸方向及び水平方向の中性子束分布の計測をするとともに、局部出力モニタの較正を行うために設けられた移動式の中性子測定装置である。T I P 系統は、5 系統の中性子検出機構、駆動機構、インデクサ機構、バルブアセンブリなどで構成されており、炉心内 43 箇所において中性子束分布を測定できるようになっている。T I P 系統のバルブアセンブリは、T I P ボール弁と T I P 火薬切断弁（爆破弁）により構成されており、原子炉格納容器バウンダリとしては、通常運転時は全閉状態である T I P ボール弁により、隔離機能を維持している。T I P の系統概略図を図 7 に示す。

テフロン材は、図 8 に示す通り、T I P ボール弁の弁シール部のシールリング及びグランドシール部のシール材として使用している。

T I P ボール弁の弁シール部は、ボール型弁体が上下の軸によって固定されており、ボール型弁体の上流側と下流側に設置されたシールリングが円板バネ及び弁座押えによってボール型弁体に押し付けられる構造となっている。弁が全閉状態の際、流体の圧力により上流側の弁座押えが押され、弁座押えとボール型弁体の当たり面をシールリングで密封する。弁には 2 つのシールリングが装備されているが、差圧の向きに応じて、2 つあるうちの圧縮される側（上流側）のシールリングが弁の密封性を確保するように働く。この状態のシールリングに着目すると、円板バネにより弁座押え及びシールリングがボール型弁体に向かって押し付けられる作用と、差圧により弁座押えがボール型弁体に向かって押し付けられる作用により、一方向に圧縮を受ける応力状態となる。

T I P ボール弁のグランド部のシール材は、弁の軸封部に挿入し、パッキン押えによって締め付けることで、軸表面及び軸封部を押し付ける力を発生させ、その接触圧力で弁内部の流体をシールしている。この状態のシール材に着目すると、パッキン押えにより締め付けられ軸封部に押し付けられる作用と内部流体から押し上げられる作用により、上下二方向から圧縮を受ける応力状態となる。

4. テフロン材使用機器の健全性

4.1 テフロン使用機器の設置場所と環境条件

機器の機能及び原子炉格納容器のバウンダリ機能に影響を与える可能性がある部位にテフロン材を使用している機器の設計基準事故及び重大事故等の環境条件下における健全性について検討する際に考慮すべき環境条件については、技術基準規則第 14 条第 2 項及び第 54 条第 1 項のとおり、温度、圧力、湿度、放射線、荷重、屋外天候、海水、電磁的障害、周辺機器等からの悪影響及び冷却材の性状がある。

これらのうち、テフロン材の特性から、材料の劣化としては、放射線による劣化が考えられ

ること、テフロン材使用部品の使用時の状態から圧力による影響を受けることから、考慮すべき条件は、放射線、圧力となる。これら要素を含む通常時、設計基準事故時、重大事故等時の環境条件を表3に示す。

4.2 テフロン材使用機器の放射線による劣化に対する健全性

(1) 所員用エアロックの均圧弁（弁シール部のシールリング）

a. 通常運転時

表3の環境条件とテフロン材の放射線照射特性を比較すると、通常運転条件下では5年間以上の耐性を有することになるため、当該機器を定期的に保全することにより健全性は維持されると評価される。

b. 設計基準事故時

設計基準事故の条件下では、事故後数日で積算線量 2×10^3 Gyを超過し、その線量を超過して以降は、材料が未照射である場合に比べ優位な影響が現れ、その影響としては、重合度の低下及びそれに伴うテフロン材の機械的特性の低下（引張強度の低下、圧縮強度の低下等）がある。

設計基準事故時、当該弁は閉状態を維持し、均圧弁に2つあるシールリングのうちシールしている側は1方向に押し付けられ摺動することはないこと、均圧弁の構造上、原子炉格納容器の内圧により1方向に押され密着性が向上する方向の力が作用するためシールリングの形状変化は考え難いこと、また、ボール弁の形状上、ボールとシールリングが閉塞しておりテフロン材の形状を維持できることから、シールリングの機械的特性が低下してもシール材の自己形状は維持されると考えられる。

さらに、別添資料4によれば、設計基準事故時における積算線量（260 kGy程度）の放射線照射下においては、テフロン材の引張強度は未照射材の20%程度まで低下することが示されている。テフロン材の圧縮強度についても引張応力と同程度の強度低下を示すと仮定した場合、テフロン材の圧縮強度は12 MPaであることから（別添資料1）、設計基準事故時の放射線条件下においてもテフロン材は2.4 MPa程度の圧縮強度を有していると推定され、圧縮に対する耐性が完全に喪失することはないと考えられることから、エアロック均圧弁のシール部の健全性は確保できると考えられる。

なお、テフロン材は金属部品の内部に設置されており放射線の遮蔽が期待できること、また、当該均圧弁は、所員用エアロックの内外に2重に配置されており、外側の均圧弁が設置される所員用エアロック内は、表3に示す原子炉格納容器内の環境よりも穏やかであると想定されることから、設計基準事故時のテフロン材の機械的特性は上記の評価より高く維持されることが想定される。

c. 重大事故等時

重大事故等時は設計基準事故時より厳しい環境条件となり、設計基準事故時と比較してテフロン材の引張強度、圧縮強度の低下がより顕著に表れる。

重大事故等時、当該弁は閉状態を維持し、均圧弁に2つあるシールリングのうちシール

している側は1方向に押し付けられ摺動することはないこと、均圧弁の構造上、原子炉格納容器の内圧により1方向に押され密着性が向上する方向の力が作用するためシールリングの形状変化は考え難いこと、また、ボール弁の形状上、ボールとシールリングが閉塞しておりテフロンを維持できることから、シールリングの機械的特性が低下してもシール材の自己形状は維持されると考えられる。

さらに、別添資料4によれば、重大事故等時における積算線量(640 kGy程度)の放射線照射下においては、テフロン材の引張強度は未照射材の10%程度まで低下することが示されている。テフロン材の圧縮強度についても引張応力と同程度の強度低下を示すと仮定した場合、重大事故等の放射線条件下においてもテフロン材は1.2 MPa程度の圧縮強度を有していると推定され、圧縮に対する耐性が完全に喪失することはないと考えられることから、エアロック均圧弁のシール部の健全性は確保できると考えられる。

しかしながら、重大事故等時は、設計基準事故時と比較してテフロン材の放射線による劣化がより顕著になることから、当該均圧弁の放射線下における健全性を向上することで、プラント安全性の向上を図ることとし、使用前検査までにより耐性に優れたシール材としてPEEK材に交換する。交換後のシール材は、表4に示す通り重大事故等時の環境下においても十分な耐性を有することを確認しているものである。

(2) 所員用エアロックの電線管貫通部(シーラント)

a. 通常運転時

表3の環境条件とテフロン材の放射線照射特性を比較すると、通常運転条件下では5年間以上の耐性を有することになるため、当該機器を定期的に保全することにより健全性は維持されると評価される。

b. 設計基準事故時

設計基準事故の条件下では、事故後数日で積算線量 2×10^3 Gyを超過し、その線量を超過して以降は、材料が未照射である場合に比べ優位な影響が現れ、その影響としては、重合度の低下及びそれに伴うテフロン材の機械的特性の低下(引張強度の低下、圧縮強度の低下等)がある。

当該電線管貫通部のシーラントは静的シールであること、シーラントは常時ボディに押し付けられ密着した構造となっており、原子炉格納容器の内圧が加わったとしてもシーラントの形状変化は考え難いこと、また、ボディとシーラントが閉塞しておりテフロンを維持できることから、シーラントの機械的特性が低下してもシール材の自己形状は維持されると考えられる。

さらに、別添資料4によれば、設計基準事故時における積算線量(260 kGy程度)の放射線照射下においては、テフロン材の引張強度は未照射材の20%程度まで低下することが示されている。テフロン材の圧縮強度についても引張応力と同程度の強度低下を示すと仮定した場合、テフロン材の圧縮強度は12 MPaであることから(別添資料1)、設計基準事故時の放射線条件下においてもテフロン材は2.4 MPa程度の圧縮強度を有していると推定され、圧縮に対する耐性が完全に喪失することはないと考えられることから、電線管貫通

部のシール部の健全性は確保できると考えられる。

なお、テフロン材は金属部品の内部に設置されており放射線の遮蔽が期待できること、また、当該電線管貫通部は、所員用エアロックの内外に2重に配置されており、外側の電線管貫通部が設置される所員用エアロック内は、表3に示す原子炉格納容器内の環境よりも穏やかであると想定されることから、設計基準事故時のテフロン材の機械的特性は上記の評価より高く維持されることが想定される。

c. 重大事故等時

重大事故等時は設計基準事故時より厳しい環境条件となり、設計基準事故時と比較してテフロン材の引張強度、圧縮強度の低下がより顕著に表れる。

当該電線管貫通部のシーラントは静的シールであること、シーラントは常時ボディに押し付けられ密着した構造となっており、原子炉格納容器の内圧が加わったとしてもシーラントの形状変化は考え難いこと、また、ボディとシーラントが閉塞しておりテフロン材の形状を維持できることから、シーラントの機械的特性が低下してもシール材の自己形状は維持されることが考えられる。

さらに、別添資料4によれば、重大事故等時における積算線量(640 kGy程度)の放射線照射下においては、テフロン材の引張強度は未照射材の10%程度まで低下することが示されている。テフロン材の圧縮強度についても引張応力と同程度の強度低下を示すと仮定した場合、重大事故等の放射線条件下においてもテフロン材は1.2 MPa程度の圧縮強度を有していると推定され、圧縮に対する耐性が完全に喪失することはないと考えられることから、電線管貫通部のシール部の健全性は確保できると考えられる。

しかしながら、重大事故等時は、設計基準事故時と比較してテフロン材の放射線による劣化がより顕著になることから、当該電線管貫通部の放射線下における健全性を向上することで、プラント安全性の向上を図ることとし、使用前検査までにより耐性に優れたシール材として膨張黒鉛材に交換する。交換後のシール材は、表4に示す通り重大事故等時の環境下においても十分な耐性を有することを確認しているものである。

(3) 原子炉格納容器隔離弁のうちTIPボール弁(弁シール部のシールリング、グランドシール部のシール材)

a. 通常運転時

表3の環境条件とテフロン材の放射線照射特性を比較すると、通常運転条件下では5年間以上の耐性を有することになるため、当該機器を定期的に保全することにより健全性は維持されると評価される。

b. 設計基準事故時

設計基準事故の条件下では、事故後数日で積算線量 2×10^3 Gyを超過し、その線量を超過して以降は、材料が未照射である場合に比べ優位な影響が現れ、その影響としては、重合度の低下及びそれに伴うテフロン材の機械的特性の低下(引張強度の低下、圧縮強度の低下等)がある。

設計基準事故時，T I P ボール弁に 2 つあるシールリングのうちシールしている側は，当該弁は閉状態を維持し，1 方向に押し付けられ摺動することはないこと，T I P ボール弁の構造上，原子炉格納容器の内圧により 1 方向に押され密着性が向上する方向の力が作用するためシールリングの形状変化は考え難いこと，また，ボール弁の形状上，ボールとシールリングが閉塞しておりテフロンを維持できることから，シールリングの機械的特性が低下してもシール材の自己形状は維持されると考えられる。

また，グランドシール部のシール材は，当該弁は閉状態を維持し摺動することはないこと，シール材は常時軸封部に押し付けられ密着した構造となっており，原子炉格納容器の内圧が加わったとしてもシール材の形状変化は考え難いこと，また，グランドシール部の形状上，軸封部とシール材が閉塞しておりテフロンを維持できることから，シール材の機械的特性が低下してもシール材の自己形状は維持されると考えられる。

さらに，別添資料 4 によれば，設計基準事故時における積算線量（260 kGy 程度）の放射線照射下においては，テフロン材の引張強度は未照射材の 20 %程度まで低下することが示されている。テフロン材の圧縮強度についても引張応力と同程度の強度低下を示すと仮定した場合，テフロン材の圧縮強度は 12 MPa であり（別添資料 1），設計基準事故時の放射線条件下においてもテフロン材は 2.4 MPa 程度の圧縮強度を有していると推定され，圧縮に対する耐性が完全に喪失することはないと考えられることから，T I P ボール弁のシール部の健全性は確保できると考えられる。

なお，テフロン材は金属部品の内部に設置されており放射線の遮蔽が期待できること，また，当該弁は，原子炉格納容器外に設置されており，表 3 に示す原子炉格納容器内の環境よりも穏やかであることから，設計基準事故時のテフロン材の機械的特性は上記の評価より高く維持されることが想定される。

c. 重大事故等時

重大事故等時は設計基準事故時より厳しい環境条件となり，設計基準事故時と比較してテフロン材の引張強度，圧縮強度の低下がより顕著に表れる。

重大事故等時，当該弁は閉状態を維持し，T I P ボール弁に 2 つあるシールリングのうちシールしている側は 1 方向に押し付けられ摺動することはないこと，T I P ボール弁の構造上，原子炉格納容器の内圧により 1 方向に押され密着性が向上する方向の力が作用するためシールリングの形状変化は考え難いこと，また，ボール弁の形状上，ボールとシールリングが閉塞しておりテフロンを維持できることから，シールリングの機械的特性が低下してもシール材の自己形状は維持されると考えられる。

また，グランドシール部のシール材は，当該弁は閉状態を維持し摺動することはないこと，シール材は常時軸封部に押し付けられ密着した構造となっており，原子炉格納容器の内圧が加わったとしてもシール材の形状変化は考え難いこと，また，グランドシール部の形状上，軸封部とシール材が閉塞しておりテフロンを維持できることから，シール材の機械的特性が低下してもシール材の自己形状は維持されると考えられる。

さらに，別添資料 4 によれば，重大事故等時における積算線量（640 kGy 程度）の放射線照射下においては，テフロン材の引張強度は未照射材の 10 %程度まで低下することが示

されている。テフロン材の圧縮強度についても引張応力と同程度の強度低下を示すと仮定した場合、重大事故等の放射線条件下においてもテフロン材は 1.2 MPa 程度の圧縮強度を有していると推定され、圧縮に対する耐性が完全に喪失することはないと考えられることから、T I P ボール弁のシール部の健全性は確保できると考えられる。

しかしながら、重大事故等時は、設計基準事故時と比較してテフロン材の放射線による劣化がより顕著になることから、当該ボール弁の放射線下における健全性を向上することで、プラント安全性の向上を図ることとし、使用前検査までにより耐性に優れたシール材として改良 E P D M 材に交換する。交換後のシール材は、表 4 に示す通り重大事故等時の環境下においても十分な耐性を有することを確認しているものである。

5. 結論

東海第二発電所の原子炉格納容器内及び原子炉格納容器隔離弁に使用されているテフロン材に関しては、4.2 項に示す健全性評価結果に基づき、設計基準事故及び重大事故等のいずれの事故環境下であっても、プラント安全性に影響を及ぼさないものと判断できる。さらに、安全上の機能を有するものについては使用前検査までに耐環境性に優れたシール材に交換することで、プラント安全性の更なる向上を図る。

以上

表 3 原子炉格納容器内で使用されるテフロン材の健全性評価用環境条件

	温度	圧力	放射線
通常時	65.6 °C	13.8 kPa[gage]	0.04 Gy/h
設計基準事故時	171 °C	0.31 MPa[gage]	260 kGy/6ヶ月
重大事故等時	200 °C	0.62 MPa[gage]	640 kGy/7日

表 4 交換後のシール材の耐環境性

設備	交換後のシール材	耐熱温度	耐放射線性
所員用エアロック 均圧弁	P E E K材	250 °C	約 10 MGy
所員用エアロック 電線管貫通部	膨張黒鉛材	400 °C以上	約 15 MGy
T I Pボール弁	改良E P D M材	200 °C*	 *

注記 * : 圧縮永久ひずみ試験を行い、材質の劣化がないことを確認した条件を示す。

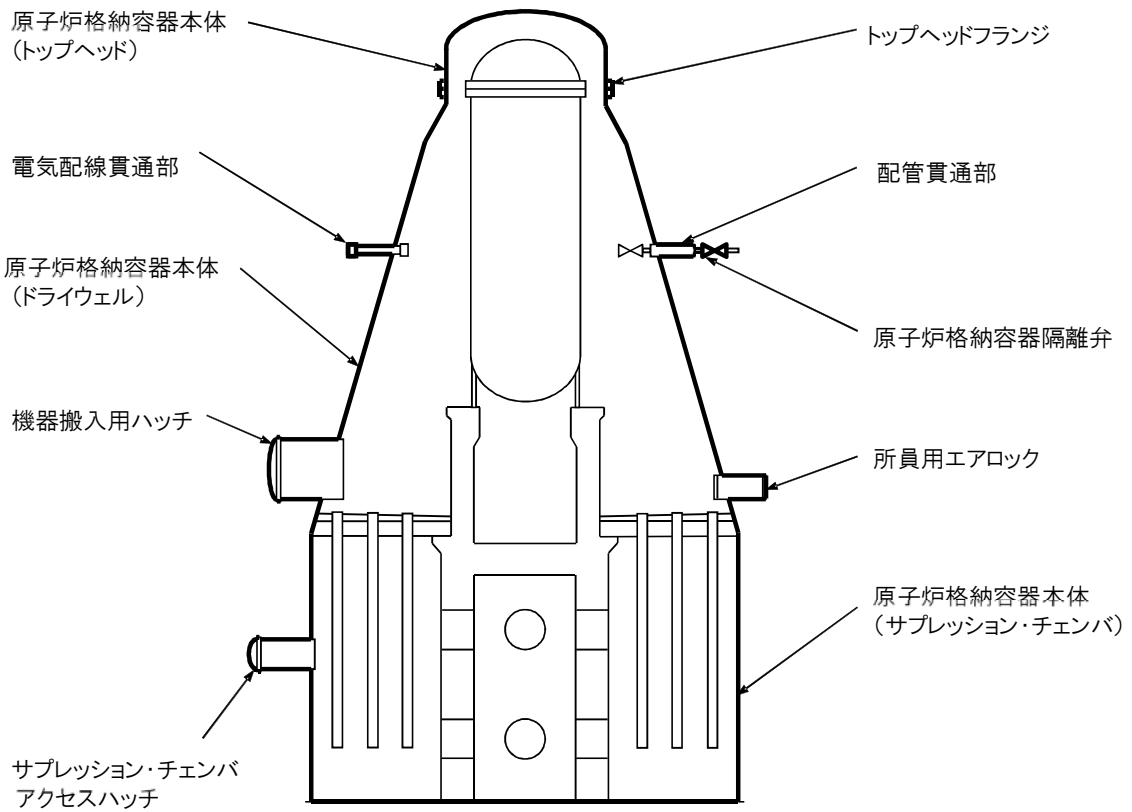
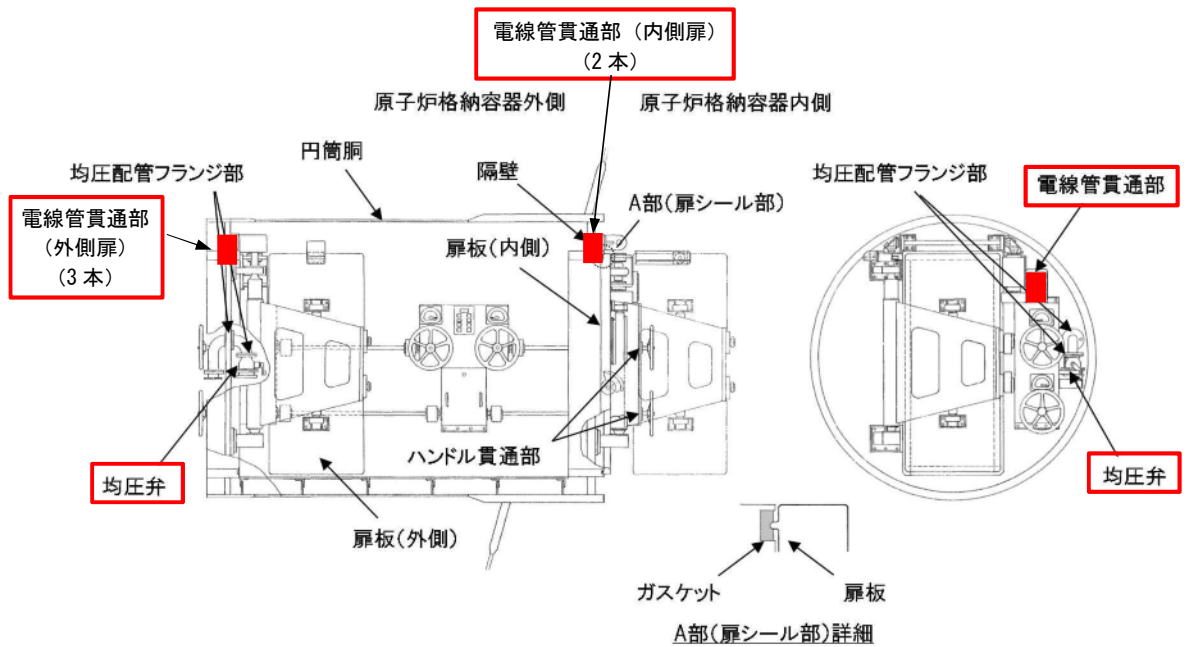


図1 原子炉格納容器の概要図



注記：赤枠は、テフロン材使用箇所を示す

図2 所員用エアロックの構造図

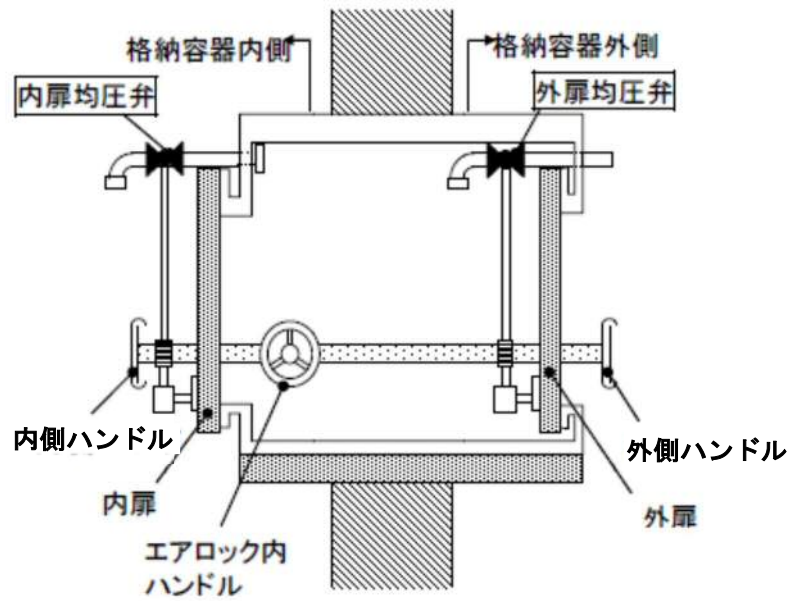
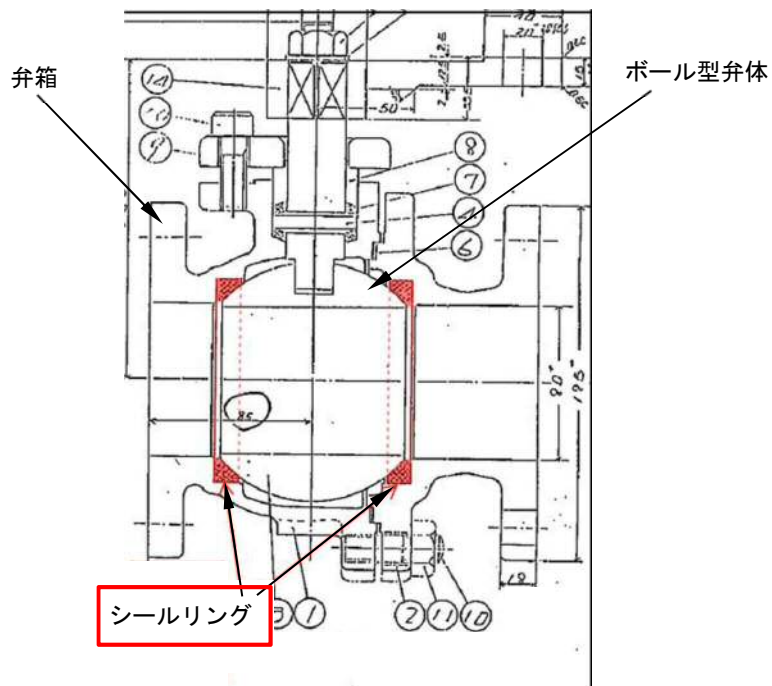
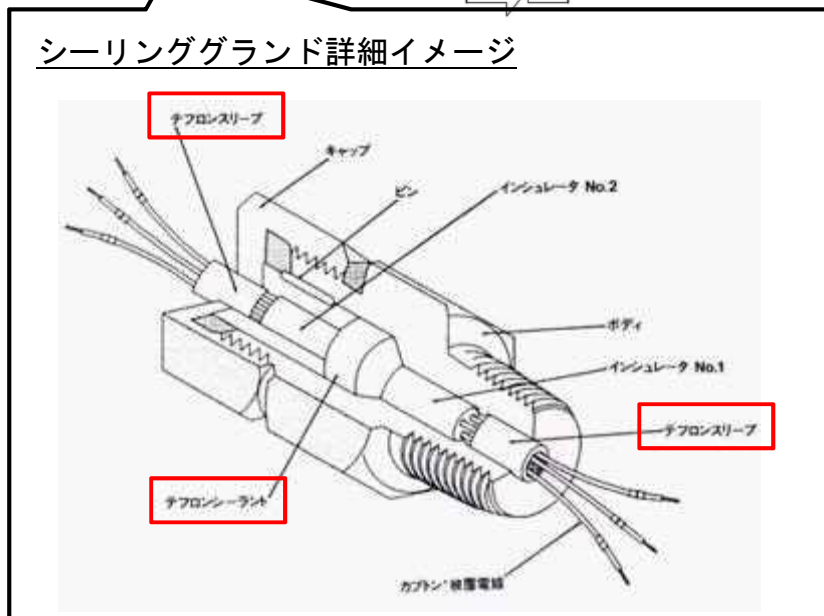
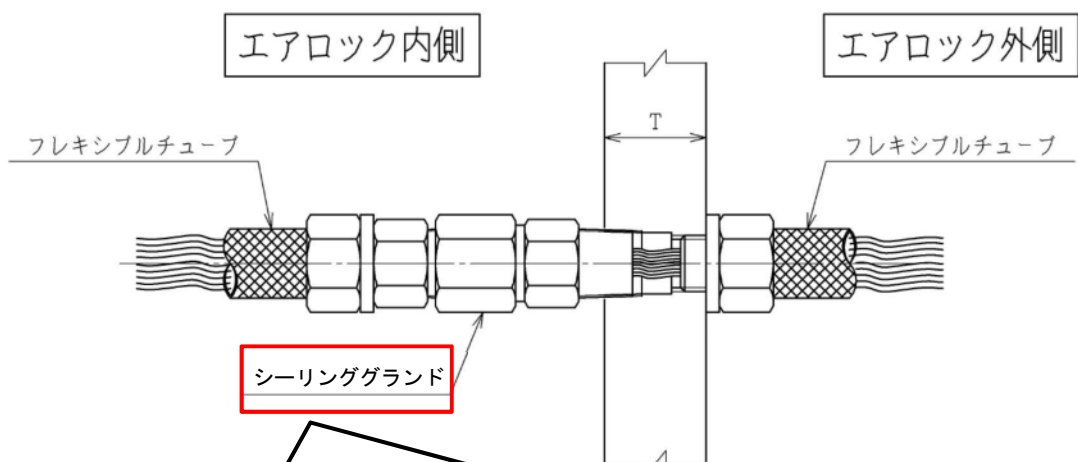


図3 所員用エアロックにおける均圧弁の位置



注記：赤枠は、テフロン材使用箇所を示す

図4 所員用エアロック均圧弁の構造図



注記：赤枠は、テフロン材使用箇所を示す

図5 所員用エアロック電線管貫通部の構造図



図6 起動領域計装及び出力領域計装の取付部の概略図

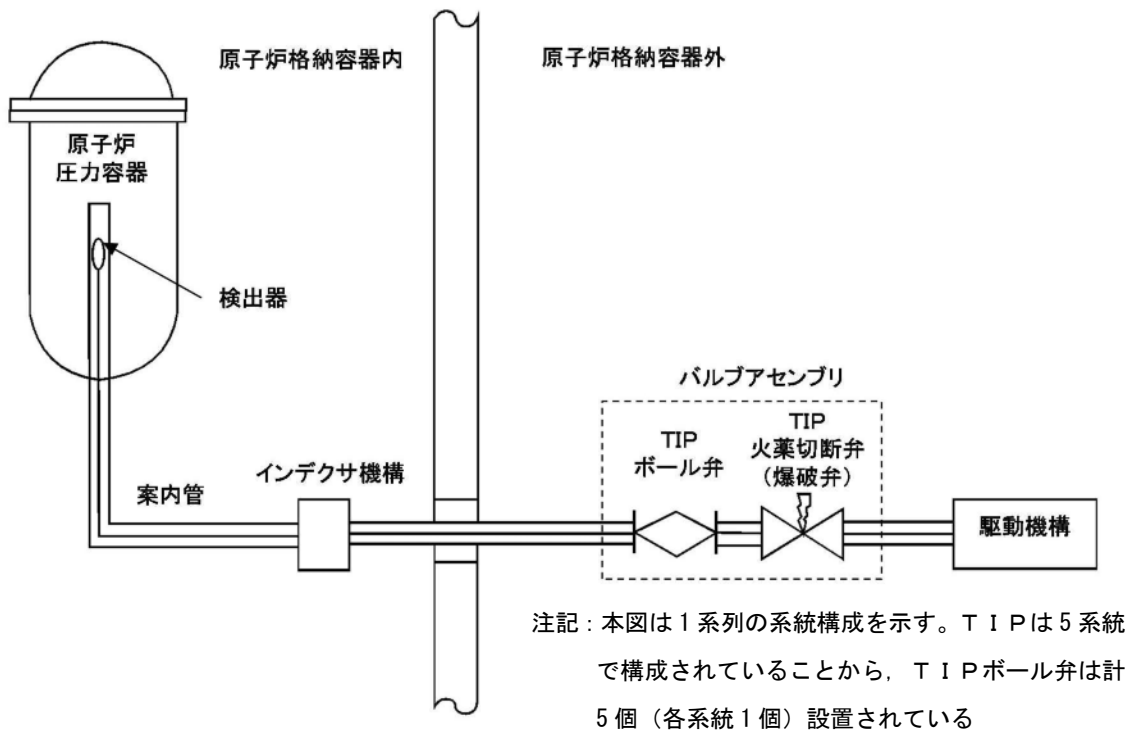


図7 TIPの系統概略図

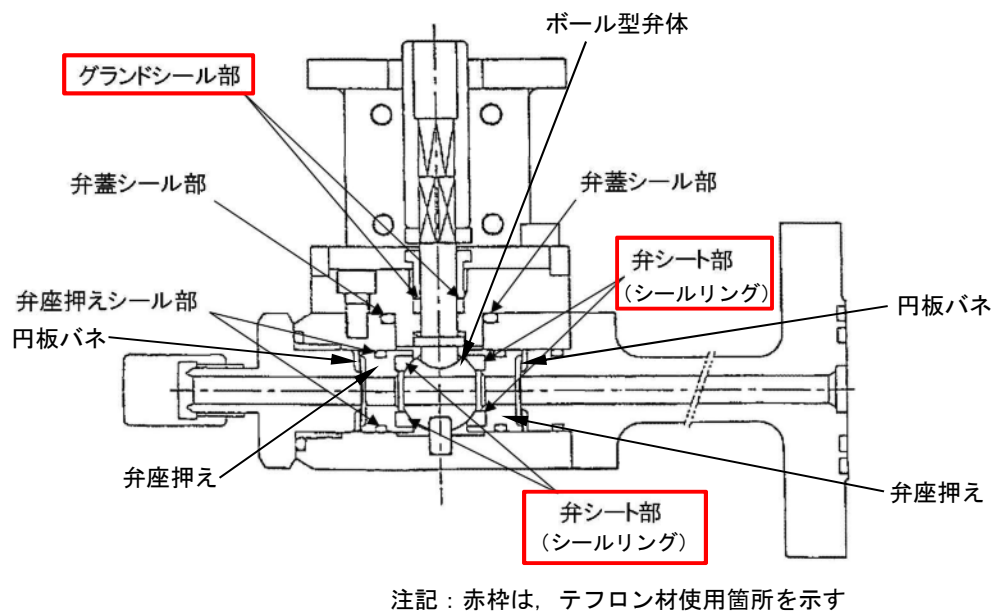


図8 TIPボール弁の構造図

ふっ素樹脂特性一覧

表 ふっ素樹脂特性一覧

■ 弊社取扱製品

● 非常に優れている

◎ 優れている

○ やや優れている

△ 使用可

特性		単位	ASTM 試験法	PTFE	PFA	FEP	ETFE	PVDF	ECTFE	PCTFE	PVF	
物理的	融点	℃		327	300~310	260	270	156~170	245	220	203	
	比重		D792	2.14~2.20	2.12~2.17	2.12~2.17	1.70	1.75~1.78	1.68~1.69	2.1~2.2	1.38~1.57	
機械的	引張強度	MPa	D638	27~34	24~34	22~31	45	34~43	48	31~41	82	
	伸び	%	D638	200~400	300	250~330	100~400	80~300	200~300	80~250	115~250	
	圧縮強度	MPa	D695	12	17	15	49	67~96	—	31~51	—	
	衝撃強度(アイゾット)	J/m	D256A	160	破壊せず	破壊せず	破壊せず	160~370	破壊せず	130~140	—	
	硬度(ロックウェル)		D785	—	—	—	R50	R79~83	—	R75~95	—	
	硬度(ショアー)		D2240	D50~65	D64	D60~65	D75	D65~70	D55	D75~80	—	
	曲げ弾性率	GPa	D790	0.55	0.66~69	0.65	1.4	2.0~2.5	0.66~0.69	1.3~1.8	—	
	引張弾性率	GPa	D638	0.40~0.55	—	0.34	0.82	1.3~1.5	1.6	1.0~2.1	1.9	
動摩擦係数		[$\frac{0.7\text{MPa}}{3\text{m/min}}$]	0.10	0.20	0.30	0.40	0.39	—	0.37	—		
熱的	熱伝導率	W/m·K	C177	0.25	0.25	0.25	0.24	0.10~0.13	0.16	0.20~0.22	0.14~0.17	
	比熱	$10^3\text{J/kg}\cdot\text{K}$	D240	1.0	1.0	1.2	1.9~2.0	1.4	—	0.92	1.0	
	線膨張係数	$10^{-6}/\text{K}$	D696	10	12	8.3~11	5.9	7~14	8.0	4.5~7.0	7.1~7.8	
	ボールプレッシャー温度	℃		180	230	170	185	—	—	170	—	
	たわみ温度 荷重	1.8 MPa	℃	D648	55	50	50	74	87~120	77	—	—
		0.45MPa			121	74	72	104	149	116	126	—
最高使用温度	℃	(無荷重)	260	260	200	150~180	150	165~180	177~200	100		
電気的	体積抵抗率	$\Omega\cdot\text{cm}$	D257 (50%RH, 23℃)	$>10^{18}$	$>10^{18}$	$>10^{18}$	$>10^{16}$	2×10^{14}	$>10^{18}$	1.2×10^{18}	1.2×10^{14}	
	絶縁破壊の強度(絶縁時間)	kV/mm (3.2mm厚)	D149	19	20	20~24	16	10	20	20~24	—	
	誘電率	60Hz	D150	< 2.1	< 2.1	2.1	2.6	8.4	2.6	2.2~2.8	8.2~8.5	
		10^3Hz	D150	< 2.1	< 2.1	2.1	2.6	8.4	2.6	2.3~2.8	6.2~6.7	
		10^6Hz	D150	< 2.1	< 2.1	2.1	2.6	6.43	2.6	2.3~2.5	6.2~7.0	
	誘電正接	60Hz	D150	< 0.0002	< 0.0002	< 0.0002	0.0006	0.049	< 0.0005	0.0012	—	
		10^3Hz	D150	< 0.0002	< 0.0002	< 0.0002	0.0008	0.018	0.0015	0.023~0.027	0.3	
		10^6Hz	D150	< 0.0002	0.0003	< 0.0005	0.005	< 0.015	0.009~0.017	—	—	
耐アーク性	sec	D495	> 300	> 300	> 300	75	50~70	18	> 360	—		
耐久性その他	吸水率(24hr)	%	D570	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.029	0.04~0.06	0.01	0.00	< 0.5	
	燃焼性(3.2mm厚)		(UL-94)	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	V-0	HB	
	限界酸素指数	%	D2863	> 95	> 95	> 95	30	44	60	> 95	23	
	直接日光の影響			なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	
	酸			●	●	●	◎	○	◎	◎	△	
	アルカリ			●	●	●	◎	○	◎	◎	○	
溶剤			●	●	●	◎	△	◎	○	△		

※ この表は、[Modern Plastics Encyclopedia 1997]の一部デューボンデータを補充して作成した。

JAERI-Data/Code
2003-015



高分子系材料の耐放射線特性とデータ集

2003年 9月

大強度陽子加速器施設開発センター
計画グループ

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

データがこれまでに蓄積されている。これらは NASA、CERN (European Organization for Nuclear Research)^[2]など多くの研究機関でまとめられている。日本では、電気学会が電気学会技術報告“耐放射線性誘電・絶縁材料の最近の動向”^[3]としてまとめられている。

CERN でまとめられたケーブル材料、エラストマー、熱硬化樹脂についての“一般的な使用限界線量”を図5(a)~(c)に示す。

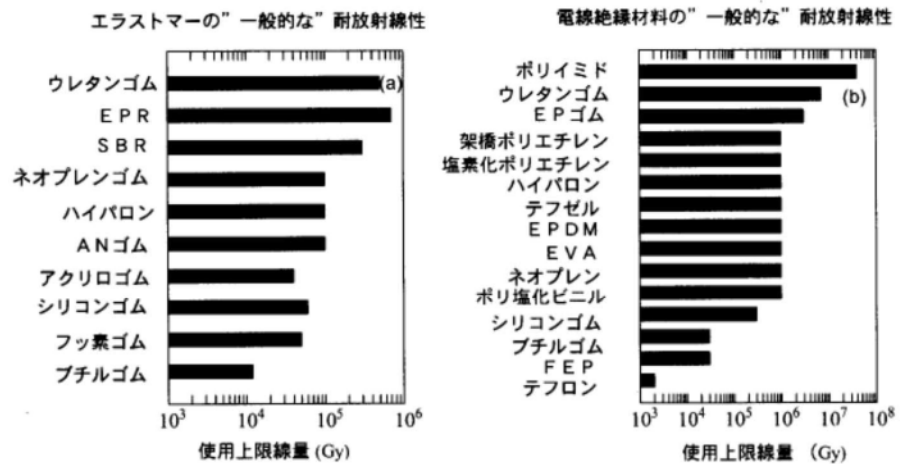


図5-1. CERNでまとめられた“一般的な耐放射線性”

(a) エラストマー (ゴム)

(b) 電気絶縁材料

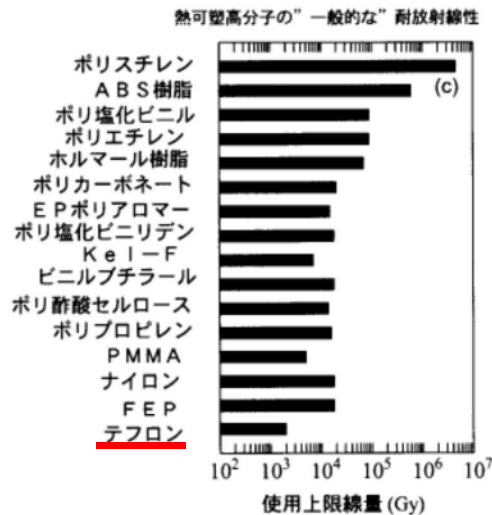
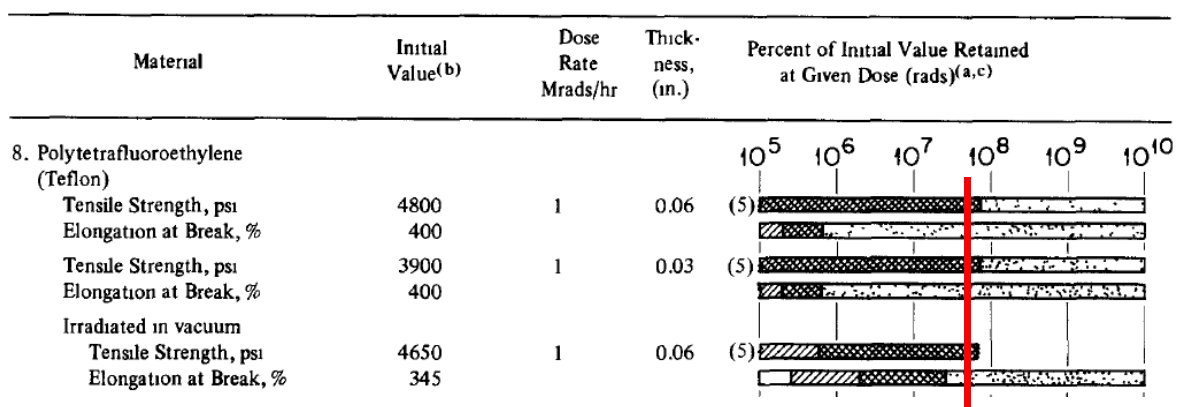


図5-2. CERNでまとめられた“一般的な耐放射線性”

(c) 熱可塑性高分子



重大事故等時における7日間積算線量

^(a)Key for radiation effects:

- 100 to 80% of initial value retained.
- 80 to 50% of initial value retained.
- 50 to 10% of initial value retained.
- 10 to 0% of initial value retained.

^(b)To convert lb/in² to Kg/mm², divide by 1422 so that 14220 lb/in² equals 10 Kg/mm². To convert ft-lb to Kg-m/cm, divide by 18.36 so that 0.3672 ft-lb/in equals 0.02 Kg-m/cm.

^(c)rad equals 100 ergs/gram of sample material.

出典 : W. W. Parkinson and O. Sisman, The Use of Plastics and Elastomers in Nuclear Radiation, Nuclear Engineering and Design 17(1971)247-280

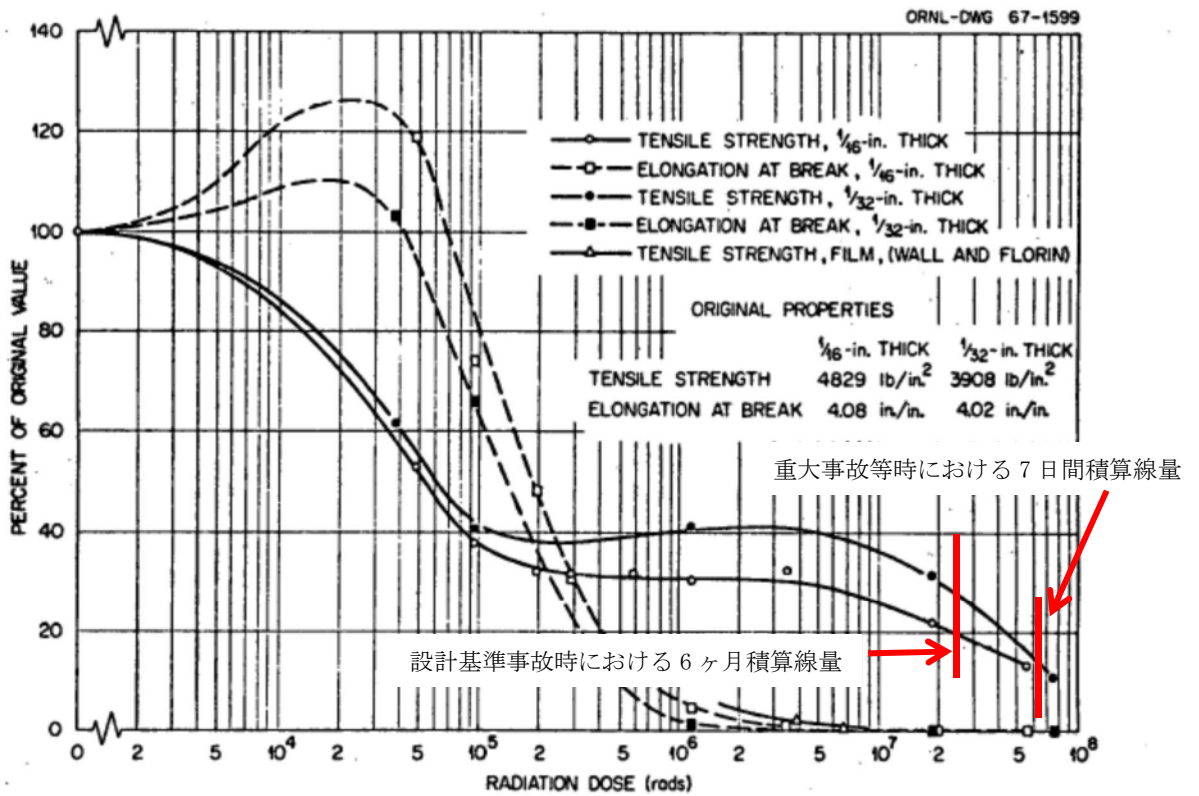


Fig. 2. Teflon, Irradiated in Air.

出典：W.W. Parkinson and W.K. Kirkland, The Effect of Air on the Radiation-Induced Degradation of Polytetrafluoroethylene(Teflon), USAEC Report ORNL-TM-1757, Oak Ridge National Laboratory, February 1967